

# 表面効果翼艇周りの流れの解析と空力係数の推定

理学専攻・情報科学コース 鬼岩あかり

## 1 はじめに

長崎県は日本で最も島が多い都道府県である。離島を行き来する人や物資は主に飛行機と船によって輸送されているが前者は積載量、後者は移動スピードに限りがあるため、より効率的な輸送手段が求められる。

その一つの手段となりうるものに表面効果翼艇がある。表面効果翼艇とは、水面のすれすれを飛行することにより揚力を増加させ、抗力を減らすという表面効果を利用した乗り物である。本報では、表面効果翼艇が効率よく安定した飛行をするための条件を提案する。

## 2 計算方法

### 2.1 基礎方程式

表面効果翼艇の飛行速度での流れは非圧縮性流体とみなせるので連続の式 (1) と運動方程式として Navier-Stokes 方程式 (2) を使用する。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \dots (2) \end{aligned}$$

$P$ : 圧力,  $Re$ : レイノルズ数

### 2.2 解法

上記の方程式をフラクショナル・ステップ法を用いて解く。  $\Delta t = 0.001$ , 計算ステップは 10,000 回とした。

## 3 モデル化・格子生成

### 3.1 モデル化

本研究では、表面効果翼艇のモデルを作成し 3 次元数値シミュレーションを行う。そして、翼と水面間の距離  $d$  と迎角  $\alpha$ , レイノルズ数  $Re$ , 海面にある波の波長  $wl$ , 波の振幅  $am$  を変化させ、流れの様子と揚力, 抗力, 揚抗比を調べる。翼形は NACA0012 型をもとに翼の厚さを増したものとする。翼のスパン方向は壁などはな

い中空構造としアスペクト比は 1 とする。パラメータは特筆しないかぎり,  $d=0.1$  ( $d$  は翼弦長を 1 としたときの後縁と水面との距離の値である),  $\alpha=10$  とする。レイノルズ数  $Re$  は格子の解像度を考慮して 10,000 とし, 波長は  $2d$ , 振幅は 0.05 とする。

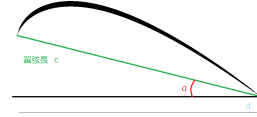


Fig. 3.1: Parameters changed in this study

### 3.2 格子

計算領域では表面効果翼艇を図のように 2 分割した。格子は翼に沿ったものとし, 格子数は図の領域①では ( $X \times Y \times Z$ )  $161 \times 41 \times 31$ , 領域②では ( $X \times Y \times Z$ )  $119 \times 31 \times 31$  である。(Fig. 3.2.1, Fig. 3.2.2) また, 翼に近いほど格子数を細かくした。(Fig. 3.2.3)

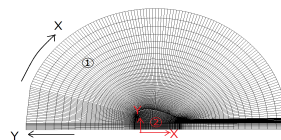


Fig.3.2.1: Grid (side view)

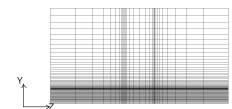


Fig.3.2.2: Grid (front view)

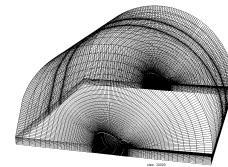


Fig. 3.2.3: Grid (bird's eye view)

### 3.3 境界条件

境界条件は図 (Fig. 3.3) の通りである。

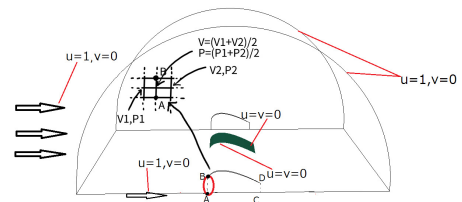


Fig. 3.3: Boundary conditions

## 4 結果と考察

### 4.1 水面との距離

水面との距離を変化させた場合の揚抗比, 揚力, 抗力は Table 4.1 のようになった。ただし,  $d$  は翼弦長を 1 としたときの値である。

水面からの距離は大きくなるにつれ, 揚抗比は小さく

なることが読み取れ、水面に近ければ近いほど効率はよい。

Table. 4.1: 計算結果

d	0.1	0.2	0.3
揚抗比	2.209085	1.970537	1.805512
揚力	0.321495	0.253428	0.218135
抗力	0.147129	0.128502	0.120528

#### 4.2 迎角

迎角を変化させた場合のそれぞれの揚抗比, 揚力, 抗力は Table4.2 のようになった。迎角  $\alpha$  が大きくなるにつれ, 揚力, 抗力, 揚抗比は大きくなる。ただし大きくなりすぎると機体が不安定になってしまうので考慮が必要だと考えられる。

Table. 4.2: 計算結果

$\alpha$	5	7	9
揚抗比	1.96207	2.137823	2.2021
揚力	0.19037	0.24864	0.298927
抗力	0.099015	0.11805	0.137369

#### 4.3 波による変化

海面を周期的に変化させた場合の揚抗比, 揚力, 抗力の時間変化を以下の図 (Fig. 4.3.1) で示す。またそれぞれの場合の圧力変化は Fig.4.3.2 のようになった。

波の周期に一致して、揚力や抗力, 揚抗比が周期的に変動する。またそのときピークの位置が正弦波に比べ後方にシフトしている。さらに、圧力図から翼と水面に挟まれた部分の圧力は波形を反映していること、波は翼上面にも影響を及ぼすことがわかる。

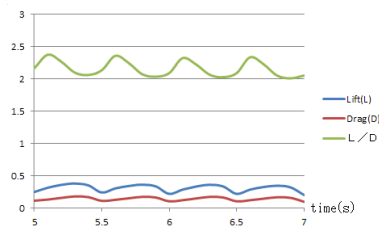


Fig. 4.3.1: 波ありの時間変化

#### 4.4 波長による影響

波長を変化させた場合の結果 (Fig.4.4) を比較する。波の周期と力の変動が一致するなど、傾向は先ほどと似ているが、波長が短いほど変動が大きく、波長が  $d$  の時は揚力や抗力の最大値と最小値は 2 倍も異なっている。

### 5 まとめと今後の課題

本研究では表面効果翼艇の飛行に着目して、効率よく飛行するための手法を提案し、シミュレーションによって検証した。その結果、地面との距離は可能な限り近

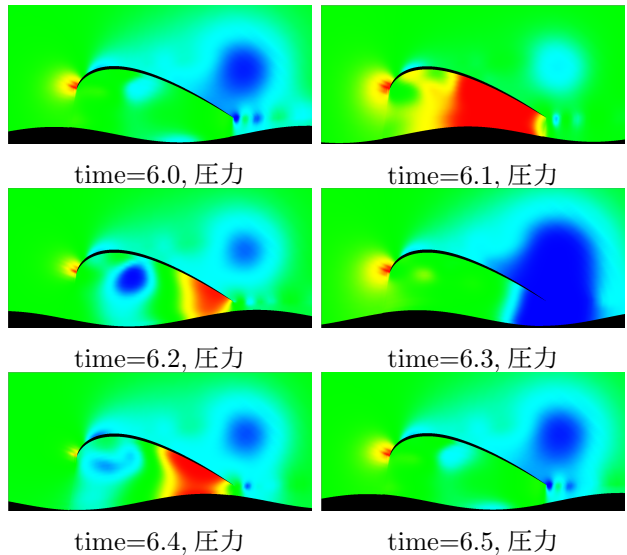


Fig. 4.3.2: 圧力の時間変化

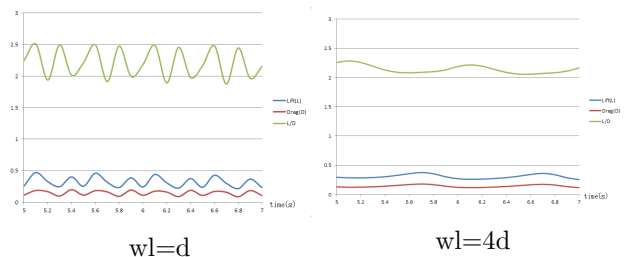


Fig. 4.4: 波長による揚抗比の時間変化

く、迎角は大きいほど効率よく飛行できるとわかった。今後は、機体の特徴を考慮し、実際に近い条件でシミュレーションを行い、さらに効率のよい条件を見つけていきたい。

#### 参考文献

- [1] 久保昇三, 松原武徳, 松岡利雄, 河村哲也. “表面効果翼艇 (WIG) の実用化に向けて”. 日本航空宇宙学会誌 39 巻 4 48 号. 1991. 5 pp. 236-242
- [2] 久保昇三, 松岡利雄, 河村哲也. “WIG 研究の現状 -  $\mu$  s k y (ミュースカイ) シリーズ開発を中心として”. 日本造船学会誌 73 1 号. pp. 254-251
- [3] 久保昇三, 松原武徳, 松岡利雄, 河村哲也. “表面効果翼艇 マリンスライダー・ミュースカイの流体力学”. ながれ. 1991, 10, pp. 11-23
- [4] 長崎県 「ながさきの「しま」」  
<https://www.pref.nagasaki.jp/sima/new/0nagasaki-ritou.html>(最終アクセス日 2017/01/23)